

Arrangement for producing defined coloured longitudinal defect in confocal microscopic beam path

Patent number: DE19612846
Publication date: 1997-10-02
Inventor:
Applicant: ZEISS CARL JENA GMBH (DE)
Classification:
- International: (IPC1-7): G02B21/00; G02B21/24
- European: G02B21/00M4A5D; G02B21/00M4A7
Application number: DE19961012846 19960330
Priority number(s): DE19961012846 19960330

Also published as:



US6038066 (A)
JP10031161 (A)

[Report a data error](#)

Abstract of DE19612846

A supplementary optical system is positioned after the microscope lens in the image beam path and which has this colour lengthwise defect. The microscope lens images the object into the infinite. The supplementary optical system is positioned in the parallel beam path between the microscope lens and a lens producing an intermediate image. The microscope lens images the object on one diaphragm plane. The supplementary optical system can be swivelled into and out of the beam path.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Patentschrift**
(10) **DE 196 12 846 C 2**

(51) Int. Cl. 7:
G 02 B 21/00
G 02 B 21/24

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:

Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

(72) Erfinder:

Baumann, Hans-Georg, Dipl.-Phys., 07749 Jena, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 19 940 A1
US 51 61 052

Bedienungsanleitung für das CSM (Confocal Scan
Modul) von Carl Zeiss Jena (veröff. im Dez. 1995);

(54) Anordnung zur Erzeugung eines definierten Farblängsfehlers in einem konfokalen mikroskopischen Strahlengang

(57) Anordnung zur Erzeugung eines definierten Farblängsfehlers in einem konfokalen mikroskopischen Strahlengang, bestehend aus einer im Abbildungsstrahlengang einem Mikroskopobjektiv nachgeordneten Zusatzoptik, die diesen Farblängsfehler aufweist, wobei das Mikroskopobjektiv das Objekt vorzugsweise in Unendliche abbildet und die Zusatzoptik im parallelen Strahlengang zwischen dem Mikroskopobjektiv und einer ein Zwischenbild erzeugenden Linse angeordnet ist. Besonders vorteilhaft ist die Zusatzoptik in den Strahlengang ein- und ausschwenkbar ausgebildet, wobei mehrere Zusatzoptiken wahlweise in den Strahlengang einschwenkbar sein können.

DE 196 12 846 C 2

DE 196 12 846 C 2

Beschreibung

Optische Systeme, die Linsen enthalten, weisen Bildfehler auf, die je nach Korrektionszustand mehr oder weniger gut korrigiert sind.

5 Es gibt aber auch Anwendungen, bei denen ein optisches System zumindest in Teilbereichen einen vorgegebenen Farblängsfehler aufweisen muß, ohne andere Bildfehler, besonders auch ohne Farbquerfehler im Bildfeld, zu erzeugen, z. B. in Geräten, die verschiedene tief liegende Objektstrukturen in unterschiedlichen Farben in einer festen Bildebene abbilden sollen.

10 In WO 92/01965 A2 ist zu diesem Zweck in einer Anordnung zur simultanen konfokalen Bilderzeugung ein Objektiv mit hoher chromatischer Aberration vorgesehen.

Dies ist auch Gegenstand der DE 44 19 940 A1.

Für diese Anordnungen müßten spezielle Objektive, die im übrigen bildfehlerfrei sein müssen, entwickelt werden.

15 Im "Handbook of Confocal Microscopy", Plenum Press, New York, London 1995, S. 263, 264 sind gleichfalls eigens konstruierte Objektive vorgesehen, die aber bezüglich ihrer numerischen Apertur nicht optimal sein können.

20 Für verschiedene "Flächenprofiltiefen" müßten jeweils spezielle Objektive entwickelt werden.

US 5161052 beschreibt ein Stereomikroskop mit einem Spiegelobjektiv vom Schwarzschildtyp in Abbildungsrichtung vorgeschalteten Aplanaten.

Eine Tubusoptik ist vorgesehen, um die vom Aplanaten erzeugten Bildfehler zu kompensieren.

Eine Variation eines voreingestellten Farbfehlers ist wiederum nur mit großem Aufwand möglich.

25 Einer vorveröffentlichten Bedienungsanleitung des ZEISS-CSM (Confocal Scan Modul) ist zu entnehmen, daß zur Erzeugung eines vorgegebenen Farblängsfehlers eine zweilinsige Zusatzoptik in den Strahlengang zwischen Objektiv und Tubuslinse einbringbar ist.

Diese Zusatzoptik beeinflußt jedoch die Abbildung durch weitere Abbildungsfehler.

30 Aufgabe der Erfindung war es daher, in einer mikroskopischen Anordnung mit geringem Aufwand einen vorgegebenen Farblängsfehler zu erzeugen, ohne andere Bildfehler hervorzurufen.

Dieses Aufgabe wird mittels einer die Merkmale des Anspruchs 1 aufweisenden Anordnung gelöst.

Bevorzugt ist die erfundungsgemäße Zusatzoptik aus dem Strahlengang ausschwenkbar.

35 Vorteilhaft wird die Zusatzoptik zwischen dem Objektiv und einer Tubuslinse zur Erzeugung eines Zwischenbildes angeordnet, wobei das Objekt durch das Objektiv ins Unendliche abgebildet wird.

40 Eine erfundungsgemäße Zusatzoptik kann jedoch ebenso einem das Objekt direkt in eine konfokale Blendenebene abbildenden Objektiv nachgeordnet werden.

So treten die Strahlen jedes Objektpunktes einer mittleren Wellenlänge parallel in die Zusatzoptik ein und verlassen sie wieder parallel, wobei die Strahlen tiefer liegender Objektstellen einer längeren Wellenlänge und höher liegender Objektstellen einer kürzeren Wellenlänge ebenfalls die Zusatzoptik parallel verlassen und im Bild somit alle scharf abgebildet werden.

45 Auf diese Weise sieht der Beobachter gleichzeitig und scharf Objektpunkte in verschiedenen Ebenen in verschiedenen Farben und erhält damit eine wesentlich vergrößerte Tiefenschärfe.

50 Daß die nicht parallel austretenden Strahlen anderer Wellenlängen anderer Objektiefen nicht zur Abbildung beitragen, liegt am Wesen der konfokalen Abbildung, die durch einen geeigneten Aufbau, wie durch das Lochsystem einer Nipkowscheibe im Zwischenbild oder durch ein Linsenarray, das nur Bildpunkte geringen Durchmessers aus dem Zwischenbild durch eine gemeinsame Lochblende abbildet, charakterisiert ist. Bei der erfundungsgemäßen Zusatzoptik wird eine Brennweite von unendlich für eine mittlere Wellenlänge, z. B. 546 nm realisiert, für längere Wellenlängen eine negative Brennweite und für kürzere Wellenlängen eine positive Brennweite, jeweils im Meterbereich für den oben angegebenen Fall der Farb-Höhen-Zuordnung am Mikroskopobjekt (bzw. umgekehrt für entgegengesetzte Zuordnung).

55 Damit würde im Falle eines konfokalen Mikroskops die Objekt-Tiefendiskriminierung mittels Farben nicht dem Zufall farblich nicht voll auskorrigierter Objektive überlassen sein, sondern es können höchstkorrigierte Epiplan-Apochromate eingesetzt werden, mit denen dann erstens eine exakte Zuordnung von Farben zu Objektdetail-Tiefen wie bei Gelände-Höhenschnitten mittels Farben, z. B. blau - Bergspitzen, grün - Tälern, rot - unter Meeresboden, erfolgen kann und zweitens die Farben als Spektralfarben gut differenzierbar sind und nicht Mischfarben zufälliger Rest-Farblängsfehler sind.

60 Beim erfundungsgemäßen optischen System zur Erzeugung eines vorgegebenen Farblängsfehlers sind die anderen Bildfehler, besonders auch Farbquerfehler bzw. die chromatische Vergrößerungsdifferenz, Wölbung, Koma, Astigmatismus und Verzeichnung gut korrigiert.

65 Für den optimalen Einsatz im Mikroskop soll die Länge der Zusatzoptik 30 mm nicht überschreiten, um z. B. als Tubuslinsen-Wechselsystem einsetzbar zu sein. Weitere Vorteile und Wirkungen der Erfindung werden im Folgenden anhand der dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1: Die Gesamtanordnung eines erfundungsgemäßen konfokalen Direktsichtmikroskopes

Fig. 2: Den Aufbau einer erfundungsgemäßen Zusatzoptik

60 Fig. 3: Den Aufbau einer weiteren erfundungsgemäßen Zusatzoptik

Fig. 4: Eine eingliedrige Zusatzoptik

65 In Fig. 1 ist eine Beleuchtungsoptik 1 vorgesehen, die eine Lichtquelle 2, eine Leuchtfeldblende 3 und eine Aperturblende 4 beinhaltet und über einen Strahlenteiler 5 in Richtung einer im Strahlengang geneigt angeordneten Lochmaske 6 nach Art einer Nipkowscheibe so geführt wird, daß auf der Oberseite der Lochmaske 6 ein Bild der Leuchtfeldblende 3 entsteht.

Lochmaske 6 und Leuchtfeldblende 3 werden durch eine Tubuslinse 7 und ein Objektiv 8 in die Ebene eines betrachteten Objektes 9 abgebildet, das wiederum auf die Lochmaske zurück abgebildet wird (konfokale Abbildung).

Die Lochmaske 6 wird durch einen Motor 10 in eine Drehbewegung versetzt, so daß das auf ihr befindliche Lochmu-

ster sich über die Objektebene bewegt.

Die vom Objekt 9 reflektierten Strahlen treten wiederum durch die Löcher der Lochmaske 6 hindurch und passieren den Strahlteiler 5.

Die Ebene der Lochmaske wird mit dem Bild des Objektes 9 über eine Linse 11 sowie ein Bauernfeindprisma 12 in ein Okular 13 abgebildet. Im Strahlengang vor und hinter der Lochmaske 6 sind entgegengesetzt orientierte keilförmige Prismen 14, 15 vorgesehen, die die Lochmaske 6 im Strahlengang optisch aufrichten.

Eine eingliedrige Zusatzoptik 16 oder eine zweigliedrige Zusatzoptik 17 wird zwischen Objektiv 8 und Tubuslinse 7 auswechsel – und einschließlich angeordnet, wo das Objekt 9 durch das Objektiv 8 ins Unendliche abgebildet wird.

Auf diese Weise treten die Strahlen jedes Objektpunktes einer mittleren Wellenlänge parallel in die Zusatzoptik 16 oder 17 ein und verlassen sie wieder parallel, wobei entsprechend die Strahlen tiefer liegender Objektstellen einer längeren Wellenlänge und höher liegender Objektstellen einer kürzeren Wellenlänge ebenfalls das Zusatzsystem parallel verlassen und im Bild somit alle scharf abgebildet werden. Da die nicht parallel austretenden Strahlen anderer Wellenlängen anderer Objektstellen nicht zur Abbildung beitragen, liegt am Wesen der konfokalen Abbildung, die durch einen geeigneten Aufbau, wie durch das Lochsystem einer Nipkowscheibe im Zwischenbild oder durch ein Linsenarray, das nur Bildpunkte geringen Durchmessers aus dem Zwischenbild durch eine gemeinsame Lochblende abbildet, charakterisiert ist.

Die in Fig. 2 und Tabelle 1 sowie Fig. 3 und Tabelle 2 dargestellten Zusatzoptiken bestehen aus zwei Gliedern mit einem Abstand voneinander, der mit den Linsendicken zusammen kleiner gleich 30 mm beträgt.

In Fig. 2–4 sind jeweils aus der Bildmitte kommende Strahlen sb sowie vom Bildrand stammende Strahlen sr dargestellt.

Es können auch eingliedrige Zusatzoptiken eingesetzt werden, die aus einer Kittlinse bestehen und einen vorgegebenen Farbfehler erzeugen, aber Restfehler der chromatischen Vergrößerungsdifferenz und in der Feldkorrektion aufweisen. Ein Beispiel für eine eingliedrige Zusatzoptik ist in Tab. 4 sowie Fig. 4 angegeben. Während bei einer eingliedrigen Zusatzoptik, beispielsweise gemäß Fig. 4, die Farben im Luftraum nach der Zusatzoptik etwas auseinanderlaufen, was zu einem außeraxial andersfarbigen Bild führen kann, werden in den Ausführungen gemäß Fig. 2 und 3 durch das zweite optische Glied die Farben wieder zusammengeführt, so daß für jedes Bildtiefen nur eine Farbe auftritt.

Die 2 Glieder gemäß Fig. 2 und 3 weisen nahezu (+/-5%) gleiche Brennweite unterschiedlichen Vorzeichens auf und sind "spiegelentgegengesetzt" aufgebaut, d. h., wie beispielsweise dargestellt, aus je einer Sammel- und Zerstreuungslinse, die in ihrer Gestaltung spiegelsymmetrisch um eine gemeinsame Mitte angeordnet sind, jedoch aus entgegengesetzten Glästen bestehen, d. h. die Sammellinse des einen Gliedes besteht aus dem gleichen oder ähnlichen Glas wie die Zerstreuungslinse des anderen Gliedes und hat die gleiche oder ähnliche Brennweite, jedoch entgegengesetztes Vorzeichen.

Da bei sind vorteilhaft die Linsen jedes Gliedes aus mindest je einem Kron- und einem Flintglas aufgebaut, d. h. mit großer und kleiner Abbe-Zahl der Farberstreuung, was bedeutet, daß jeweils Glas mit hoher Abbescher Zahl v größer 40 und Glas mit niedriger Abbescher Zahl v kleiner 40 eingesetzt wird.

Für die prinzipielle Wirkung und damit für den prinzipiellen Aufbau ist es gleichwertig, in welcher Reihenfolge die einzelnen Linsen eines Gliedes angeordnet sind, auch müssen die Glassorten, Dicken und Radien nicht identisch sein, was zur Anpassung an unterschiedliche Aufgaben ausgenutzt werden kann.

In Fig. 3 und Tabelle 2 ist ein solches System angegeben, bei dem die Reihenfolge von Kron- und Flintglas vertauscht ist, vertauscht sind, die Glieder aus unterschiedlichen Gläsern bestehen und andere Durchbiegungen der Linsen aufweisen.

Die optische Wirkung dieser Anordnung ist in Tabelle 3 dargestellt.

Durch den spiegelsymmetrischen Aufbau kompensiert immer die zerstreuende Linse des einen Gliedes die Wirkung der sammelnden Linse des anderen Gliedes, wodurch Restfehler betreffs Koma und Astigmatismus einer einfachen Kittlinse aufgehoben werden, weiterhin werden die Wölbung bzw. die Petzvalsumme null durch die Gesamtbrennweite unendlich.

Auch die Verzeichnung kompensiert sich durch die entgegengesetzten Vorzeichen der Brennweiten der beiden Glieder, während Farbfehler, wie Farbkoma und besonders chromatische Vergrößerungsdifferenz oder Farbverzeichnung durch den Luftabstand zwischen den beiden Gliedern behoben werden, indem die einzelnen Glieder jedes für sich eine entgegengesetzte und größere chromatische Abberation als die gewünschte Gesamtabberation aufweisen.

Durch unterschiedliche Glästen der spiegelsymmetrischen Linsen und unterschiedliche geometrische Gestaltung kann der gewünschte Farbfehler bei einer optimalen Feldkorrektion eingestellt werden.

Das Beispiel in Tabelle 1 besteht aus einem Glied G1 positiver Brennweite mit einer ersten Sammellinse L1 und einer ersten Zerstreuungslinse L2, denen ein Glied G2 negativer Brennweite mit einer zweiten Zerstreuungslinse L3 und einer zweiten Sammellinse L4 nachgeordnet ist.

Der vorgegebene Farblängsfehler ergibt sich aus den unterschiedlichen Radien der Glieder.

Durch die vorteilhafte Bemessung der optischen Parameter sind die Bildfehler wie Farbkoma, Astigmatismus, Gaußfehler und chromatische Vergrößerungsdifferenz ausreichend korrigiert.

DE 196 12 846 C 2

Tabelle 1

Brennweiten, Glastypen, Krümmungsradien der Flächen F1-F6 und Dicken d1-d5 für erstes und zweites optisches Glied G1, G2 der Zusatzoptik, die aus Linsen L1, L2 sowie L3, L4 besteht, gemäß Fig. 2:

Glied- Nr.	Brennweite	Linse - Nr.	Brennweite	Glastyp
G 1	+ 988 mm	L 1	+44.6 mm	SFL6
G 2	- 1007 mm	L 2	-45 mm	FK5
		L 3	-60.8 mm	SFL6
		L 4	+68.6 mm	FK5
15	Flächen- Nr.	Radius	Dicke	
20	F1	49.3 mm		
	d1	2 mm		
25	F2	-134.6 mm		
	d2	1.6 mm		
30	F3	26.4 mm		
	d3	22.6 mm		
35	F4	-27.0 mm		
	d4	1.6 mm		
40	F5	-61.0 mm		
	d5	2 mm		
45	F6	-21.9 mm		

Die Zusatzoptik gemäß Fig. 3 besteht aus einem optischen Glied G3 negativer Brennweite und einem optischen Glied G4 positiver Brennweite, die aus Zerstreuungslinsen L5, Sammellinsen L6 sowie Zerstreuungslinsen L7 sowie Sammellinsen L8 aufgebaut sind. Hierbei entsteht der vorgegebene Farblängsfehler sowohl durch leicht unterschiedliche Gläser in den beiden Gliedern als auch durch verschiedene Radien.

50

55

60

65

DE 196 12 846 C 2

Tabelle 2

Brennweiten, Glastypen, Krümmungsradien der Flächen F1-F6 und Dicken d1-d5 für erstes und zweites optisches Glied G3, G4 der Zusatzoptik, die aus Linsen L5, L6 sowie L7, L8 besteht, gemäß Fig. 3:

Glied- Nr.	Brennweite	Linse -Nr.	Brennweite	Glastyp
G3	-213 mm	L 5	-36 mm	BaK1
G4	+211 mm	L 6	+41 mm	SFL6
		L 7	-41 mm	SF10
		L 8	+32 mm	Baf52

Flächen- Nr.	Radius	Dicke
F1	51.6 mm	
d1		1.6 mm
F2	14.6 mm	
d2		2.1 mm
F3	24.4 mm	
d3		20.8 mm
F4	26.0 mm	
d4		2.2 mm
F5	13.4 mm	
d5		3.2 mm
F6	38.7 mm	

Tabelle 3

Differenzen der Objektebenenlagen für 4 Wellenlängen bei verschiedenen Objektivvergrößerungen für das Beispiel gemäß Fig. 3 und Tabelle 2:

Vergrößerung	Wellenlänge	436 nm	480 nm	546 nm	644 nm
10x		0.067 mm	0.037 mm	0 mm	-0.034 mm
20x		0.017 mm	0.0093 mm	0 mm	-0.0084 mm
50x		0.0027 mm	0.0015 mm	0 mm	-0.0013 mm
100x		0.00067 mm	0.00037 mm	0 mm	-0.00034 mm
150x		0.00030 mm	0.00016 mm	0 mm	-0.00015 mm

Tabelle 4

Aufbau aus zwei Linsen L9, L10:

5	Gesamtbrennw.	Linsen - Nr.	Brennw.	Glastyp	Abbesche Zahl
	44581 mm	L 9	- 21,52	BaF52	46,1
		L 10	21,98	F5	37,8

10	Fläche	Nr.	Radius	Dicke
	F1		- 110.593	
15	d1			2,5
	F2		15,070	
	d2			3,6
20	F3		- 105,929	

Die Erfindung ist nicht an die dargestellten Ausführungsformen gebunden. Insbesondere können anders aufgebaute Zusatzoptiken, beispielsweise diffraktive Elemente oder Glasplatten eingesetzt werden.

25 Patentansprüche

1. Anordnung zur Erzeugung eines definierten Farblängsfehlers in einem konfokalen Mikroskop,
 - mit einer das Objekt (9) durch eine Objektivlinse (8) hindurch beleuchtenden, mehrfarbigen Lichtquelle (2),
 - mit einer gemeinsamen konfokalen Lochblende (6) für den Beleuchtungs- und den Detektionsstrahlengang
 - und mit einer Zusatzoptik zwischen der Objektivlinse (8) und der konfokalen Lochblende (6), die am Ort des Objektes (9) den Farblängsfehler erzeugt und dabei unterschiedliche Objekthöhen in den unterschiedlichen Farben der Lichtquelle (2) beleuchtet,
 - wo bei die Zusatzoptik aus einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse besteht; dadurch gekennzeichnet,
 - daß zwischen die Zusatzoptik und die Objektivlinse (8) eine zweite, ebenfalls aus einer Sammel- und Zerstreuungslinse bestehende Zusatzoptik eingebracht ist,
 - daß die Zerstreuungslinse der ersten Zusatzoptik und die Sammellinse der zweiten Zusatzoptik und die Sammellinse der ersten Zusatzoptik und die Zerstreuungslinse der zweiten Zusatzoptik jeweils aus Kronglas oder Flintglas besteht
 - daß die Brennweiten der beiden Zusatzoptiken unterschiedliche Vorzeichen aufweisen und innerhalb von $\pm 5\%$ übereinstimmen,
 - wobei die beiden Zusatzoptiken sich in ihren Farb- und Abbildungsfehlern bis auf den Farblängsfehler gegenseitig aufheben.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Zusatzoptiken aus dem Strahlengang ausschwenkbar ausgebildet sind.

45 Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65



